



DOI: [10.71167/uaceg.2024.570118](https://doi.org/10.71167/uaceg.2024.570118)

Получена: 04.12.2023 г.

Приета: 16.01.2024 г.

МОДЕЛИРАНЕ НА ЗАМЪРСЯВАНЕТО НА ВЪЗДУХА ОТ ТРАНСПОРТА ПО СОФИЙСКИ БУЛЕВАРДИ

А. Буров¹, Д. Брезов²

Ключови думи: моделиране, въздух, транспорт, градски улични каньони, София

РЕЗЮМЕ

Проучването представя начин за запълване на познавателните празнини, свързани със замърсяването на въздуха с фини прахови частици и други замърсители в София около линейните източници на замърсяване от трафика. Изследването е направено на основата на софтуер за моделиране на уличното замърсяване. Моделирането на въздушното замърсяване от транспортните емисии на нивото на улиците е проведено за случаите на булевард „Александър Стамболийски“ и на булевард „Тодор Александров“ с пресечките помежду им. Методите и техниките на събиране на данни и тяхната обработка за целите на модела включват множество подходи за преодоляване на липсите и ограниченията. Резултатите за избрани дати през януари и април 2018 година показват значимо увеличение на замърсяването с ФПЧ10 и ФПЧ2.5 над нивото на градското фоново замърсяване. Участъците с най-интензивен трафик, както и тези с интензивен трафик, рамкиран от свързано средно и високо застрояване, са с най-значими стойности на концентрация на фини прахови частици. Предложени са набор от насоки в дискусия за извеждане на приоритети при въвеждането и управлението на мерки за по-добро качество на атмосферния въздух в София.

¹ Ангел Буров, гл. ас. д-р урб., кат. „Градоустройство“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: burov_far@uacg.bg

² Данаил Брезов, доц. д-р мат., кат. „Математика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: danail.brezov@gmail.com

1. Въведение

Мотивацията зад това тестово проучване е свързана с нуждата от по-задълбочено изследване в рамките на град София за установяване на концентрацията на емисии покрай елементите на транспортно-комуникационна система, отвъд обобщеното дисперсионно моделиране, осъществено в поредни програми за качеството на атмосферния въздух. Първостепенните елементи на тази система – мрежа от булеварди и главни улици – са натоварени с различно количество трафик и са с различна организация на движението, съществуващо и планирано застрояване. Характерът (от ниско до високо) и начинът (индивидуално, свързано и комплексно) на застрояването, неговото предназначение, както и предназначението на откритите обществени пространства, са довели до разнообразие в гъстотата на обитаването и в дейностите, свързани с пребиваване на открито. Кръстовищата, площадите и градините, активните партерни етажи и ползвани тротоарни пространства, откритите пазари и входовете на търговски и развлекателни центрове, детските центрове, градините и училищата, спирките с различна степен на натовареност и брой изчакващи пътници са места, около които често има съсредоточие на трафик, който оказва значително влияние върху епидемиологичната обстановка и здравето на тези, които пътуват в него и се придвижват, пребивават или живеят наоколо.

Целта на проучването и моделирането на уличното замърсяване е да бъде потвърдено общото наблюдение [1], че около интензивния трафик се създават „горещи точки“ с по-голяма концентрация на емисии от средния градски фон на замърсяването, при което застрояването играе допълнителна роля за неравномерната концентрация на емисиите. Това е проблем, който засяга градовете в глобален план, особено във връзката градска среда – здраве, при която качеството на атмосферния въздух има голямо значение.

Част от тези въпроси са засегнати в настоящото проучване, което се опитва да изпробва подхода на микромоделирането и да предложи и следващи стъпки на обвързани приложни изследвания. Крайната цел на такива изследователски усилия в по-голям обхват е прецизиране на политиките и вземане на подходящи решения за тази и другите части от града с тяхното разнообразие и нужда от по-здравословна среда.

2. Обхват на изследването

Проучването се съсредоточава върху почти целите булеварди „Александър Стамболийски“ и „Годор Александров“, които започват от сърцевината на града и се насочват към западната му периферия (фиг. 1). Пространството е рамкирано от Коньовското възвишение на запад и обхваща по-ниските места покрай река Владайска, протичаща перпендикулярно на двата булеварда, където е и част от най-категорично изразеното тихо време и слаби ветрови режими в града [2]. Включени са и междинните участъци от напречните булеварди „Мария Луиза“, „Христо Ботев“, „Константин Величков“ и улиците „Опълченска“ и „Вардар“.

За данните, свързани със застрояването, интензивността на движението, метеорологията и фоновото замърсяване обхватът е разширен до най-близко разположените обекти и измервания със значима за модела информация. Този обхват позволява и по-задълбочен широкоспектърен преглед, проучване, микромоделиране и симулации, свързани с набора от условия на средата за качеството на атмосферния въздух. По този начин освен самите елементи на транспортно-комуникационната

система, в обхвата е включено застрояването, което е отдалечено на 100 m от осите на булевардите и улиците, както и по-широкия набор от кръстовища в непосредствена близост, за които се събират данни за интензивността на движението.



Фиг. 1. Пространствен обхват на моделиране: синьо-виолетови линии – обхват на улична мрежа; виолетови кръгове – кръстовища с данни за трафика; полигони с черен контур и фон от бяло до черно – сгради от ниски до високи; прекъснатата черна линия с тирета – обхват на сгради; прекъснатата сива линия с точки – обхват на кръстовища с данни за трафика; червени концентрични кръгове – изолинии от автоматични измервателни станции (Хиподрума (Sf7(BG0050A)) и Надежда (Sf2(BG0040A)))

Времевият обхват включва два отделни дни от януари и април 2018 година. Януари е обичайно месецът с най-чести превишения на нормите (средночасови, средноденоношни) над установените в европейското и националното законодателство пределно допустими прагове. Април е един от месеците с най-редки превишения на нормите и със стойности около препоръчителните (референтните) нива на Световната здравна организация (СЗО) [3]. Избрани са две дати – 08 януари и 16 април. Първата дата е с една от най-високите стойности, измерени през съответния месец, както в Автоматичната измервателна станция (АИС) Надежда, така и в АИС Хиподрума, които са най-близко разположените до разглежданата територия официални станции [4]. Втората дата е със стойности, близки до средната стойност за месец април през тази година. Тъй като времевият обхват не е достатъчен за извеждане на общи закономерности и осредняване спрямо средногодишните норми, сравненията и визуализациите са предимно насочени към концентрациите на емисии, за които има утвърдени среднодневни допустими, както и препоръчителни, прагове.

В проучването са моделирани концентрациите на фини прахови частици – ФПЧ10 и ФПЧ2.5, като са изведени резултати както за общата концентрация, така и за приноса на транспорта за замърсяването в рамките на разглежданите участъци от булеварди и улици, включително и дела на емисиите, които не са причинени от изгаряне, а от повдигане и разнасяне от движението. Възможно е и моделиране на азотните оксиди (NOx), както и на азотния оксид и азотния диоксид поотделно, което е свързано с въвеждането на параметри за променливото им съотношение според метеорологичните условия.

3. Методът на моделиране на замърсяването на нивото на улиците и софтуерът OSPM

Методът е свързан с параметрично микромоделиране, което въпреки ограничения пространствен обхват и многото данни, необходими за неговото провеждане, показва добри резултати при сравнение с реални измервания и дава допълнителна представа за разликите в замърсяването спрямо ниските като пространствена разделителна способност мезомодели на общоградско ниво. За целите на микромоделирането съществуват различни софтуерни разработки, които навлизат по-бавно в практиката, поради по-голямата им дълбочина и зависимостта им от качеството на измерванията и моделирането на по-високите равнища – континентални, регионални и общоградски, в рамките на свързани или единни изчислителни системи. Примерни списъци от такива разработки могат да бъдат открити в последователни публикации към Форума за моделиране на качеството на въздуха (FAIRMODE), който стартира през 2007 г. като съвместна инициатива за реагиране на проблемите, свързани с качеството на въздуха на Европейската агенция за околната среда (ЕАОС) и на Съвместния изследователски център на Европейската комисия (JRC) [5, 6].

По-голямата част от микромоделите са гаусови и имат ограничения поради опростения начин, по който разглеждат турбуленцията и метеорологията, като са най-подходящи за изчисление на почасови концентрации [7, 8]. Не се препоръчва употребата им за по-големи на площ полета поради променливия характер на метеорологията. Тяхната точност е тясно свързана и с наличните възможности за въвеждане на по-прецизни данни за динамиката на фоновото замърсяване и метеорологичните характеристики на микроклимата във или около изследваните пространства, както и с такива за застрояването, интензивността и състава на движението.

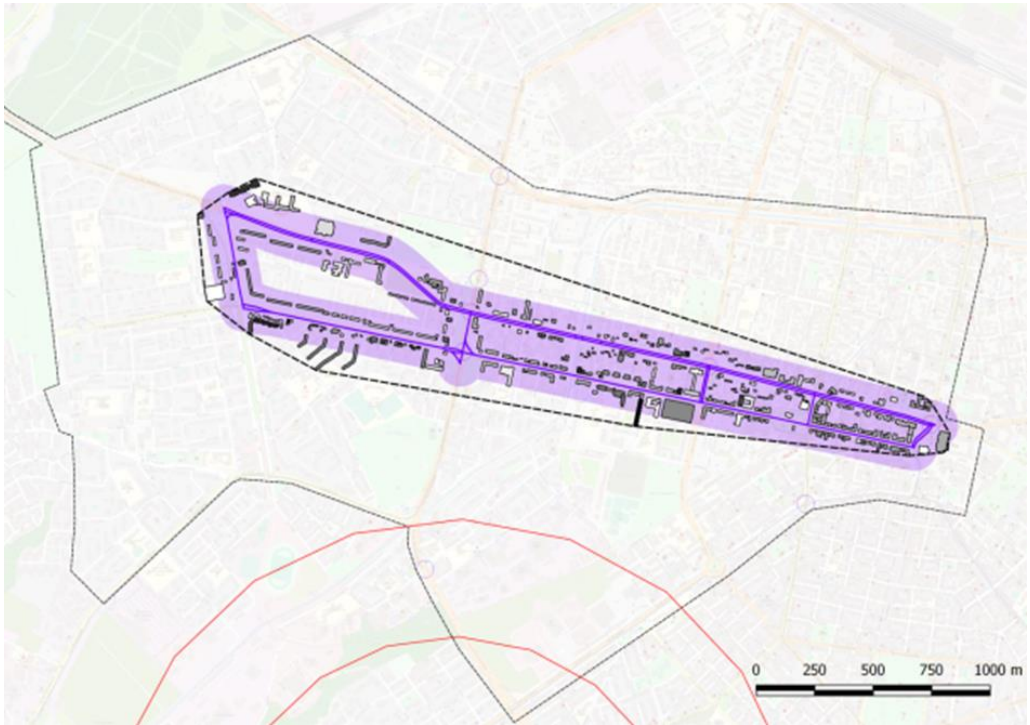
Софтуерът OSPM (Operational Street Pollution Model или Оперативен модел на уличното замърсяване) е параметричен полу-емпиричен модел от типа свързан с уличните каньони, възползващ се от предположения за условията на протичане и разсейване на атмосферния въздух [1]. В международната литература се среща задоволително ниво на употреба и публикуване на резултати от работата с този модел през последните 20 години [9 – 11]. Моделът на уличния каньон се използва за изчисляване на замърсяването на въздуха на височина 2 m от двете страни на избраните улици. Моделът включва различни елементи: емисии от трафика на избраната улица; прости химични реакции, описващи реакциите на замърсителите на въздуха в уличните каньони; разсейване на замърсяването на въздуха в уличния каньон (поради метеорологични условия и индуцирана турбуленция от трафика). За случая на това изследване е използвана пробната свободна версия (5.1.90 от 30 март 2007) на WinOSPM (OSPM с интерфейс за Windows).

Относно измерването и публикуването на данни за качеството на въздуха през последните няколко години бяха проведени множество дебати с критика и защита на традиционните официални данни. Появиха се и предложения за допълването и съчетаването на официални европейски, национални и местни системи с неофициални граждански мрежи – източници на данни. Независимо от това към момента на това проучване основният източник остава Националната система за мониторинг на качеството на атмосферния въздух на МОСВ, а като допълнителен източник данните от гражданската платформа airbg.info, част от мрежата luftdaten.info. Последните са с индикативен характер, като употребата им е по-подходяща за мезонивото, при което благодарение на по-голямата им съвкупност и гъстота на измерванията могат да бъдат изведени закономерности, както и да се определи величината на грешката. При прегледа на наличните данни за метеорологията и фоновото замърсяване и тяхната относимост към нуждите на модела и при двата източника бяха открити недостатъци. Например при официалните данни от МОСВ за дните с налични данни за трафика бяха открити липсващи почасови стойности за някои характеристики на метеорологията (посока и сила на вятъра) в АИС Хиподрума, която е най-близко разположена до изследваните улични участъци (средно около 2 km). Същевременно при неофициалните данни от airbg.info бяха открити подходящи датчици в непосредствена близост (между 100 m и 1 km), за които отсъстваха данни за един от двата избрани дни, както и други необходими данни, като например тези за метеорологията и височината на измерването, които биха подобрили значително тяхната полезност. В процеса на работа бяха направени сравнения между стойностите от двете АИС, както и между тях и данните от гражданската мрежа и бяха открити закономерности. С цел опростяване на работата и намаляване на предположенията беше направен избор да бъдат използвани данните, предоставени на ЕС За Земята по ЗДОИ [4] от Изпълнителна агенция по околна среда (ИАОС) за АИС Надежда, понастоящем налични и онлайн в съответната информационна система на Агенцията. Непрекъснатостта на серията от записи в двата избрани дни за тази станция, заедно с допълненията, направени благодарение на услугата за изтегляне на актуални (E2a) почасови данни от платформата на Европейската агенция по околна среда (ЕАОС) [12] позволиха да бъдат осигурени приемливи входящи данни с метеорологията и фоновото замърсяване за целите на модела.

Кадастралните и специализираните кадастрални данни предоставят подходяща основа за установяването на геометрията на улиците и застрояването. Направената извадка от оси на улиците (полилинии) в определения обхват, заедно с нейния 100 метров буфер и включените в него сгради с техните граници (полигони) и с атрибутивната информация за тяхната етажност позволиха да бъдат осигурени приемливи входящи данни с геометрията на улиците и застрояването за модела (фиг. 2).

Основните набори от достъпни данни за трафика са откъслечни и тяхното ползване е затруднено по редица технически причини. Това е и една от причините за частично обвързване на пространствения и времевия обхват с налични данни за трафика. Най-актуалните и подробни данни са тези, предоставяни от Дирекция управление и анализ на трафика към направление Транспорт и транспортни комуникации на Столична община [13]. Същевременно гъстотата на кръстовищата с наблюдение и преброяване на трафика е относително ниска (фиг. 2). Допълнителни, но по-малко актуални данни за трафика в ограничени времеви извадки са налични в доклада „Акустичен мониторинг и специфично локално трафико-преброяване – гр. София, 2012 г.“ – към Стратегическа карта за шум в агломерация София [14], както и в докладите към „Генерален план за организация на движението на територията на Столична община“ [15]. Тези източници позволиха да бъдат осигурени приемливи входящи данни с интензивността на движението за модела. Разнообразните, но твърде разпокъсани или обобщени на

национално ниво данни за превозните средства (подвижния състав) не позволиха да бъдат променени базовите настройки относно тях в модела и за това е избрана най-близката референтна година за Дания (2010), която в най-голяма степен отговаря на характеристиките на днешния автомобилен парк в България.



Фиг. 2. Инвентаризация на данни: синьо-виолетови линии – улична мрежа; виолетови кръгове – кръстовища с данни за трафика; полигони с черен контур и фон от бяло до черно – сгради от ниски до високи; прекъснатата черна линия с тирета – обхват на сгради с данни за етажността; прекъснатата сива линия с точки – обхват на кръстовища с данни за трафика; червени концентрични кръгове – изолинии от автоматични измервателни станции (Хиподрума (Sf7(BG0050A)))

Поради липсата на измервания на ФПЧ2.5 в АИС Надежда за допълване на данните са направени изчисления с допускания единствено относно ФПЧ2.5 въз основа на почасовите данни от платформата на ЕАОС. За да се получат почасови стойности за ФПЧ2.5 в АИС Надежда, е използвано от една страна почасовото разпределение на ФПЧ10 в тази станция, което е умножено според средноденонощния дял на ФПЧ2.5 от ФПЧ10 в АИС Хиподрума за същия ден. Този начин на изчисление е сравнен с други и показва най-малки противоречия спрямо общия набор от данни за метеорологията и фоновото замърсяване в избраната референтна станция. Подходът се използва и за оценка на средногодишна концентрация с ФПЧ2.5 при липсата на преки измервания и/или дисперсионно моделиране на тази категория фини прахови частици [16]. Потенциално възможни са и по-сложни начини на осредняване и съобразяване с динамиката в дела на ФПЧ2.5 като част от ФПЧ10 при използване на по-голям свързан набор от часови, средноденонощни, сезонни и средногодишни данни от измерванията в повече на брой точки във и около София (официалните АИС Хиподрума, Павлово и

Копитото и неофициалните от airbg.info) и по-специално такива в западната ѝ половина. При липса на надежден мезомодел на градското фоново замърсяване за съответната година такъв тип изчисления биха могли да подобрят работата по този микромодел в перспектива.

Уличната геометрия е обработена посредством множество действия в QGIS с цел увеличаване или намаляване на броя на уличните участъци, така че да съответстват на характерната пространствено-морфологична рамка, определена от регулацията (ширина, пресичания), застрояването (височина, свързаност) и организацията на движението (платна за движение, паркиране). Изчислени са параметри като ориентация, дължина и ширина на участъците, височина на основната линия на застрояване и отклоненията от нея въз основа на центроида (централната точка) на всеки от 26-те участъка. В допълнение с помощта на QGIS е направено изчисление на фактора на видимост на небето (sky view factor) с цел илюстриране на степента, в която са формирани улични каньони по протежението на съответните сегменти.

За попълване на липсващите данни от трафика е използвано основно притеглено осредняване. Статистическите тегла са формирани на базата на разстоянието между центроидите на съответните улични участъци, както и ефективните коефициенти, отчитащи капацитета на уличната мрежа. В участъци, където липсват напречни булеварди и съответно няма възможност за значително разсейване на трафика, е използвана линейна интерполация. Като референтен маркер са ползвани данни от близки датчици, както и такива от липсващи датчици за друг времеви период. За двете изследвани дати от януари и април са използвани наличните и допълнително попълнени данни от трафика за датата от април. Поради ограничения мащаб на изследването и дефицита на системни показания няма как да се разчита на някои по-иновативни методи, базирани на изкуствен интелект, Monte Carlo или machine learning алгоритми, както и по-задълбочен статистически анализ, каквито биха могли да се приложат успешно при изследването на цялата градска транспортна мрежа при липса на надежден мезотранспортен модел. За по-голямата достоверност на такъв подход на запълване на празнините е нужна по-гъста мрежа от точки, в които да бъде преброяван както еднократно, така и многократно автомобилният трафик.

Процесът на въвеждане на данни е илюстриран в следващите няколко фигури. Първата стъпка е свързана с въвеждане на входящ файл с набора от основни променливи за метеорологията и фоновото замърсяване за всеки час. След това идва ред на стъпката по определяне на изходните променливи, за които се търси резултат от моделирането. Въвеждането на характеристиките на уличните участъци (ориентация, средна височина и изключения от нея, ширина, дължина, средноденонощна и почасова интензивност на трафика, подвижен състав и др.) е третата стъпка, при която е възможна редакция на всеки участък поотделно, както и обединяването им в общ файл. Четвъртата стъпка е изчислението и извеждането на избраните променливи от модела.

В рамките на това тестово изследване не са въведени някои други параметри, свързани с принципните характеристики на подвижния състав и на горивата с техните емисионни фактори, както и други специфични настройки, които биха могли да се основават на национални и местни регистри, бази данни, изследвания и пр., каквито за съжаление няма или са с ограничен достъп или в твърде обобщен или суров вид в едни случаи предполагащ предположения, а в други твърде интензивна комуникация и обработка за постигане на необходимото качество на информацията. С такава налична информация е възможно проучването на различни ситуации от предходни години и сценарии за бъдещи години при промени на характеристиките на превозните средства и горивата, както и интензивността на движението по съответните участъци.

4. Резултати от моделирането и визуализация на концентрацията на замърсяване

Изведените резултати от тестовото моделиране включват следните предварително зададени променливи: а) cPM_{10_mod} – моделирана средноденонощна концентрация на ФПЧ₁₀; б) $cPM_{10_str_mod}$ – моделирана средноденонощна стойност на ФПЧ₁₀ принос от движението по съответния уличен участък; в) $cPM_{10NonExh_str_mod}$ – моделирана средноденонощна стойност на ФПЧ₁₀ принос от движението по съответния уличен участък, дължаща се на разсейването (ресуспендирането) на прах при изключване на емисиите от изгорели газове; г) $cPM_{2.5_mod}$ – моделирана средноденонощна концентрация на ФПЧ_{2.5}; д) $cPM_{2.5_str_mod}$ – моделирана средноденонощна стойност на ФПЧ_{2.5} принос от движението по съответния уличен участък; е) $cPM_{2.5NonExh_str_mod}$ – моделирана средноденонощна стойност на ФПЧ_{2.5} принос от движението по съответния уличен участък, дължаща се на разсейването (ресуспендирането) на прах при изключване на емисиите от изгорели газове.

Променливите са изведени поотделно за всяка от двете страни на даден уличен сегмент. Оцветяването е обвързано с препоръчителните норми на замърсяване от СЗО [3] и с тези заложи в националното законодателство, чрез европейската Директива 2008/50/ЕО [17], които са представени в табл. 1 и 2. Следва да се вземе предвид, че актуалните насоки на СЗО са по-взискателни и с по-ниски прагове, които са в процес на преразглеждане и в рамките на ЕС, които в последствие се очаква да бъдат транспонирани в националното законодателство.

Таблица 1. Препоръчителни и нормативно приети прагови стойности на замърсяване на въздуха с фини прахови частици

Директива за качеството на въздуха на ЕС (2008/50/ЕО)				Насоки на СЗО	
Замърсител	Период на осредняване	Цели и правен характер на концентрацията	Коментари	Концентрация	Коментари
ФПЧ _{2.5} $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 часа	–		25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	99-и перцентил (3 дни/година)
	средногодишно	прагова стойност, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
ФПЧ ₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 часа	прагова стойност, 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	да не бъде превишавана повече от 35 пъти в рамките на една календарна година	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	99-и перцентил (3 дни/година)
	1 година	прагова стойност, 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Таблица 2. Оценъчни прагове (горни и долни) във връзка с разпределението (класификацията) на районите за оценка и управление на КАВ (МОСВ/МЗ, 2010)

Оценъчен праг	Средноденонощна стойност (ФПЧ ₁₀)	Средногодишна стойност (ФПЧ ₁₀)	Средногодишна стойност (ФПЧ _{2,5}) ¹
Горен	70 % от нормата (35 µg/m ³ – да не бъде превишавана повече от 35 пъти за една КГ)	70 % от нормата (28 µg/m ³)	70 % от нормата (17 µg/m ³)
Долен	50 % от нормата (25 µg/m ³ – да не бъде превишавана повече от 35 пъти за една КГ)	50 % от нормата (20 µg/m ³)	50 % от нормата (12 µg/m ³)

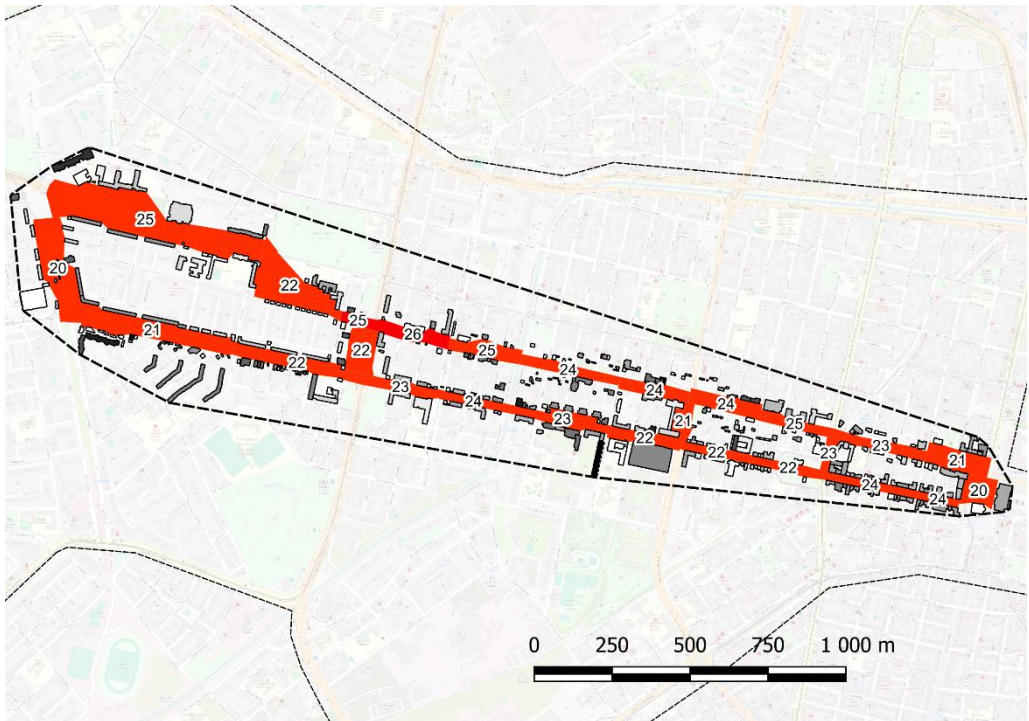
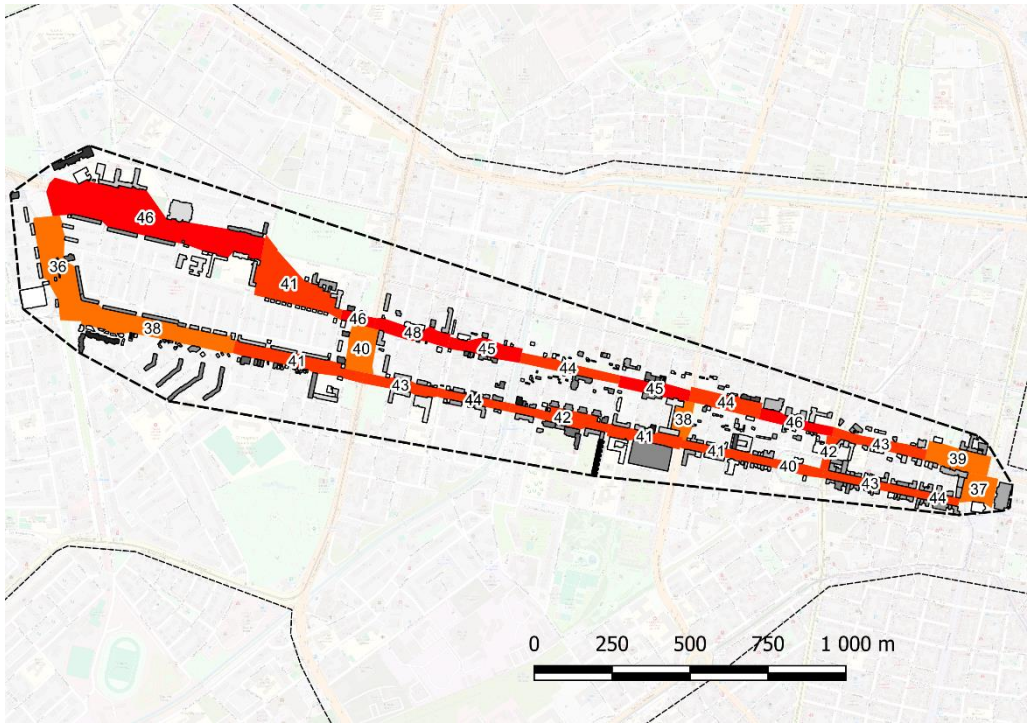
От изведения резултат за средноденонощната концентрация на 8-и януари е видно значителното превишение на денонощната прагова стойност с около 4 пъти (фиг. 3а). При средноденонощна стойност 186,95 µg/m³ за фоновото замърсяване в АИС Надежда, моделираните стойности по отделните участъци са в границите между 193,63 и 206,72 µg/m³, което е съществено влошаване на състоянието на атмосферния въздух при така или иначе неблагоприятната ситуация през този ден. При по-цялостно отчитане и моделиране на градското фоново замърсяване и въз основа на съседни измервания, резултатът ще бъде различен. Вероятно е замърсяването да бъде още по-високо предвид регистрираната средноденонощна концентрация от 234,80 µg/m³ в АИС Хиподрума.

Подобна е ситуацията и при ФПЧ_{2.5}, при които публикуваната стойност на фоновото замърсяване е 155,17 µg/m³, а моделираните стойности варират между 159,29 и 165,98 µg/m³ (фиг. 3б).

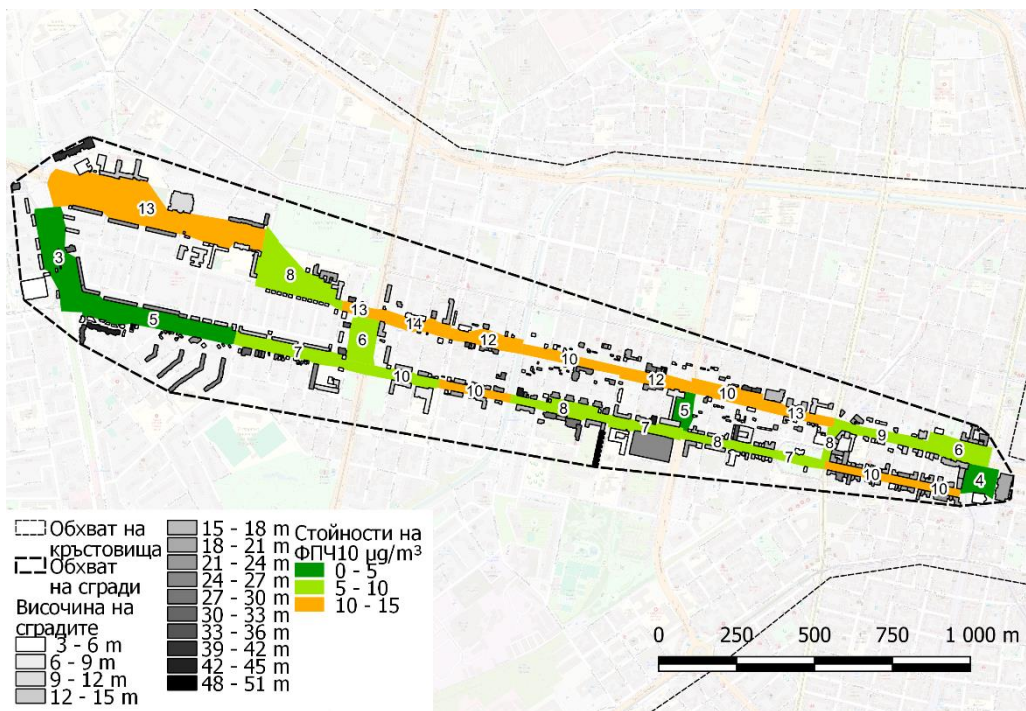
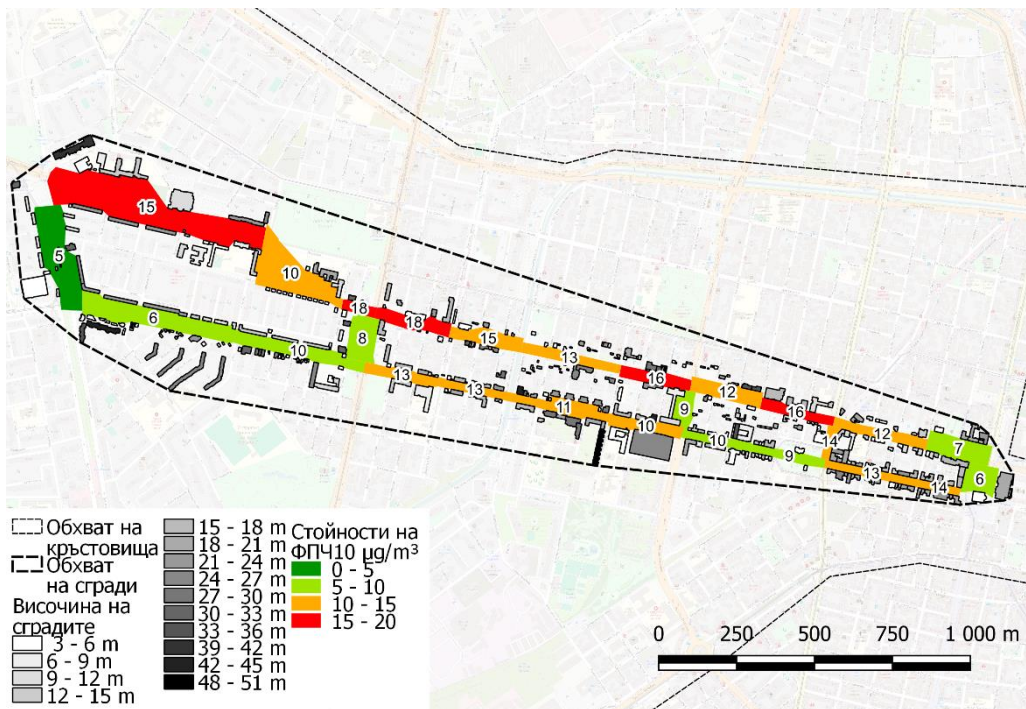
Резултатите за 16-и април показват една по-благоприятна картина, благодарение и на по-ниското фоново замърсяване (фиг. 4). За съответния ден ИАОС осреднява измерените стойности от АИС Надежда на 44,01 µg/m³ за ФПЧ₁₀ и на 24,21 µg/m³ за ФПЧ_{2.5}. Резултатите от модела са между 36,48 и 47,94 µg/m³ за ФПЧ₁₀ и между 20,01 и 25,89 µg/m³ за ФПЧ_{2.5}, над препоръките на СЗО и близо до праговете стойности на ЕС. Предвид занижените стойности на фоновото замърсяване от използваните почасови стойности, добавените емисии от движението остават значителни, макар и средно с около 3 µg/m³ за ФПЧ₁₀ и 1,5 µg/m³ за ФПЧ_{2.5} по-малко от януарските стойности.

Уличните участъци с най-високи стойности по бул. „Тодор Александров“ (Т4, Т3, Т9), по бул. „Александър Стамболийски“ (А10, А9 и А4), както и този по бул. „Христо Ботев“ са такива с по-интензивно движение, но и в по-голяма близост до кръстовища и с по-плътна и високо свързано застрояване в близост до уличните платна. Приносът само на движението в общата концентрация на емисиите от ФПЧ₁₀ и ФПЧ_{2.5} доближава препоръчителните средногодишни стойности на СЗО. Характерът на това замърсяване е постоянен с малки сезонни вариации заради интензивността на движението и други общи и микроклиматични условия. Резултатите за 16-и април показват една по-благоприятна картина, благодарение и на по-ниското фоново замърсяване (фиг. 4). За съответния ден ИАОС осреднява измерените стойности от АИС Надежда на 44,01 µg/m³ за ФПЧ₁₀ и на 24,21 µg/m³ за ФПЧ_{2.5}. Резултатите от модела са между 36,48 и 47,94 µg/m³ за ФПЧ₁₀ и между 20,01 и 25,89 µg/m³ за ФПЧ_{2.5}, над препоръките на СЗО и близо до праговете стойности на ЕС. Предвид занижените стойности на фоновото замърсяване от използваните почасови стойности, добавените емисии от движението остават значителни, макар и средно с около 3 µg/m³ за ФПЧ₁₀ и 1,5 µg/m³ за ФПЧ_{2.5} по-малко от януарските стойности.

¹ В Наредбата за нормите е посочено, че горният и долният оценъчен праг за ФПЧ_{2,5} не се прилагат за измерванията за оценяване на съответствието с целта за ограничаване на експозицията на ФПЧ_{2,5} за опазване на човешкото здраве.

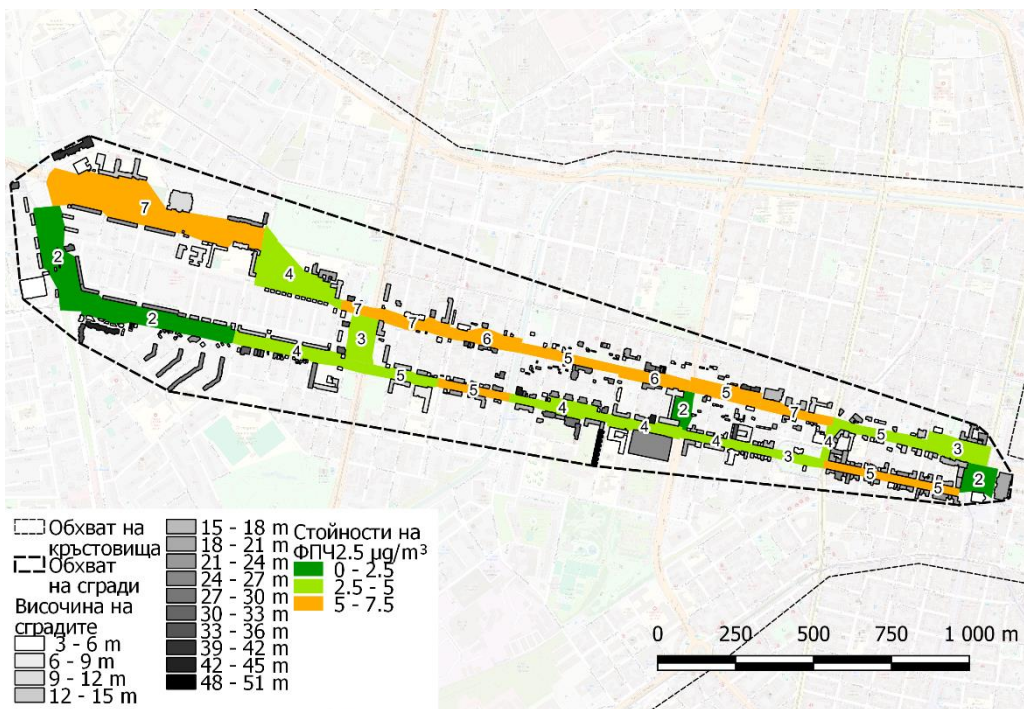
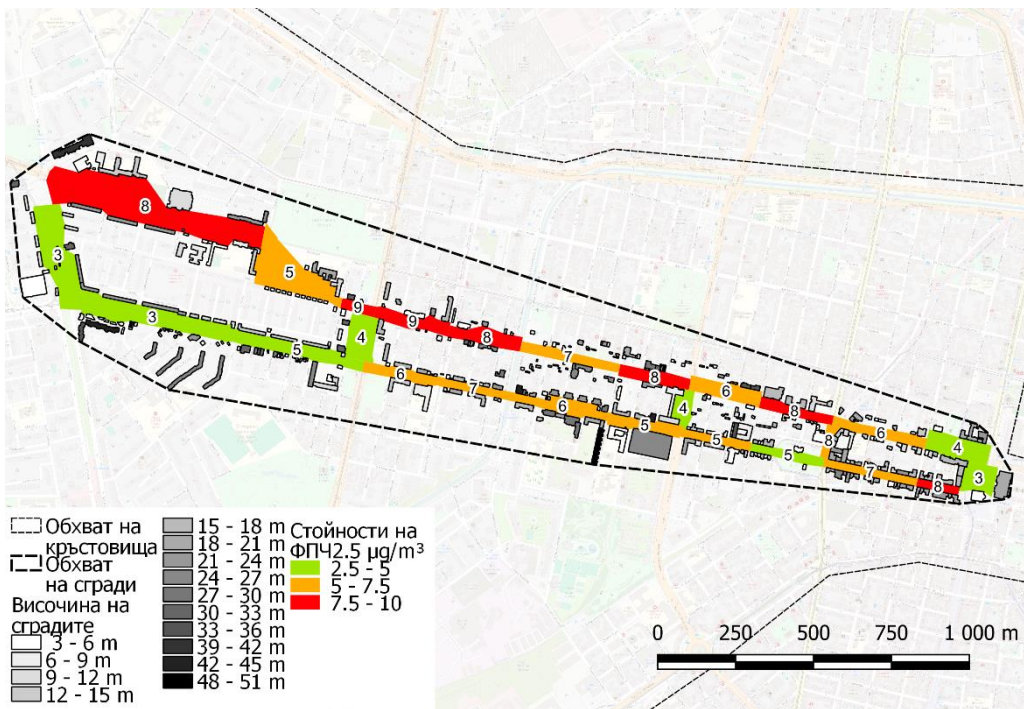


Фиг. 4. Моделирана средноденоношна концентрация по улични участъци на:
 а) ФПЧ10 за 16-и април 2018 г. (горе); б) ФПЧ2.5 за 16-и април 2018 г. (долу)



Фиг. 5. Моделиран принос към среднонощната концентрация по улични участъци на ФПЧ10 за:

а) 8-и януари 2018 г. (горе); б) 16-и април 2018 г. (долу)



Фиг. 6. Моделиран принос към средноденоношната концентрация по улични участъци на ФПЧ2.5 за:

а) 8-и януари 2018 г. (горе); б) 16-и април 2018 г. (долу)

Уличните участъци с най-високи стойности по бул. „Тодор Александров“ (Т4, Т3, Т9), по бул. „Александър Стамболийски“ (А10, А9 и А4), както и този по бул. „Христо Ботев“ са такива с по-интензивно движение, но и в по-голяма близост до кръстовища и с по-плътното и високо свързано застрояване в близост до уличните платна. Приносът само на движението в общата концентрация на емисиите от ФПЧ10 и ФПЧ2.5 доближава препоръчителните средногодишни стойности на СЗО. Характерът на това замърсяване е постоянен с малки сезонни вариации заради интензивността на движението и други общи и микроклиматични условия.

Във фиг. 5 и 6 е представен приносът на уличното движение към нивата на концентрациите на ФПЧ10 и ФПЧ2.5 в съответните каньони.

Този принос включва както емисии от изгорели газове, така и емисии от износване на спирачки, гуми и ресуспензия. Важно е да се подчертае, че не са правени надеждни проучвания на емисионните фактори за втората група емисии за България и София, но има предположения, че техният принос е по-голям и този модел подценява това по-отрицателно въздействие по улиците и в каньоните на града.

5. Дискусия

Насоките за подобряване на резултатите от моделирането на уличното замърсяване от транспорта могат да бъдат обобщени в няколко основни направления:

- Изискване и публикуване на данни в машинно четим вид или програмирано улесняване на събирането им за по-бърза и ефективна обработка за изследователски цели, както и подобряване на възможността за въвеждане на по-голям обем от данни в съответни софтуерни продукти и модели за изчисления в по-голям пространствен и времеви обхват;
- Допълнително събиране и обработване на данни за метеорологията, фоновото замърсяване и замърсяването покрай трафика, емисионните фактори от него, интензивността и състава на движението, както и ефектите от бъдещото застрояване в по-широкия общоградски обхват;
- Провеждане на статистически и физико-химически анализи за установяване на закономерности, свързани с метеорологията, фоновото замърсяване и движението за подпомагане на процеса на достигане до по-надеждни обобщения за приноса на транспорта в общото замърсяване, разсейването и концентрацията му в различните части на града и по-специфичния принос на изгорелите газове и ресуспензията;
- Провеждане на социологически и социално-психологически анализи за установяване на поведението и нагласите на гражданите към различни алтернативи, свързани с начина им на придвижване, притежаването, ползването и замаяната на личен автомобил, въвеждане на данъци, такси и други ограничения;
- Моделиране чрез последователно свързани нива от макро-, през мезо- до микромоделите за установяване на подходящите национални и местни политики и установяване на мерки в целесъобразен обхват.

Намаляването на риска за здравето чрез намаление на експозицията на множеството обитатели и ползватели на градската среда в обхвата на натоварените с

трафик участъци от уличната мрежа и прилежащите им публични пространства е възможно чрез едновременно справяне със симптомите, но и с причините за замърсяване на въздуха. По отношение на симптомите, подходящи мерки включват пренасочване на трафика във времето и пространството, въвеждане на зони с ниски емисии и общо подновяване на подвижния състав с по-чисти превозни средства. Причините за това постоянно замърсяване могат да бъдат по-съществено ограничени чрез общо намаляване на нуждата от придвижване с автомобили (напр. чрез алтернативни начини на придвижване с обществен и споделен транспорт, телекомуникационни форми на заетост и електронни услуги, градска логистика и снабдяване, градоустройствени модели за организация на ежедневните дейности и др.) и по-цялостна замяна на превозните средства с такива, които не отделят значителни емисии на място (напр. електрически леки превозни средства, велосипеди и мотоциклети, както и по-малки леки автомобили). Алтернативните решения и наборът от мерки изискват задълбочени оценки и внимателно планиране във времето и пространството на града.

6. Изводи

От проведеното тестово моделиране са установени по-високи стойности на замърсяване по уличните участъци спрямо фоновото замърсяване. През януари те варират между 3 – 9 % за ФПЧ10 и 2 – 6 % за ФПЧ2.5. Предвид общата рискова ситуация през януари, но също така и през декември и февруари, както и части от ноември и март на значително надхвърляне на праговете нива на ФПЧ и риска от достигане на алармените нива за други замърсители, свързани с транспорта, като например NO₂, е нужно преосмисляне на краткосрочните мерки за предпазване на гражданите. През април приносът на транспорта за замърсяването в разгледания обхват е по-значим със стойности между 9 – 43 % за ФПЧ10 и 9 – 41 % за ФПЧ2.5. Това вероятно е валидно не само за април, но също така за части от март и ноември, май и октомври, юни и септември и в по-малка степен през август. Очертава се значително надхвърляне на препоръчителните нива и достигане до праговете нива, които освен това предстои да бъдат преразгледани въз основа на последни насоки от СЗО. Също така това вероятно е валидно и за много други участъци от уличната мрежа на града, около които се формира публичният живот на гражданите на София. Той е по-силно застъпен на открито през по-топлите месеци.

В изследвания обхват се наблюдава връзка между по-големи концентрации на замърсяване и наличието на свързано застрояване на уличната регулационна линия. Продължаващото уплътняване на силуета на града по този начин на застрояване и формирането на градски улични каньони ще създава проблеми за качеството на въздуха в градската среда в следващото десетилетие, ако замяната на сегашния автомобилен парк с по-чисти или напълно чисти превозни средства се забави и не бъде подкрепено от национални и местни политики.

Изведените резултати от този тестови модел потвърждават наблюдения в други градове за приноса на транспорта за замърсяването на въздуха на нивото на улицата. Те са сигнал за нуждата от подобряване на основата за вземане на решения. да се започне от измерванията и начините на събиране на данни, тяхната обработка, анализите и оценките и общоградското моделиране; да се достигне до моделирането на всички по-натоварени като интензивност на движението улици и булеварди от първостепенната улична мрежа. Съчетаването на такова подробно моделиране на най-ниско ниво с оценка на експозицията на различни групи хора и рискът за тяхното здраве, както и с

възможностите на транспортно-комуникационната система да осигури нуждите от придвижване по алтернативни начини, би предоставило по-надеждна основа за обществения избор при решаването на проблема с чистотата на атмосферния въздух в София.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка е подкрепена финансово от Екологично сдружение „За Земята“.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kakosimos et al.* Operational Street Pollution Model (OSPM) – A review of performed application and validation studies, and future prospects. Environmental Chemistry, CSIRO Publishing, 2010.
2. *Troeva, V. i kol.* Doklad za Otsenka za vazdeystvieto varhu okolnata sreda na OUP na grad Sofia i Stolichna obshtina (predvariteln proekt), 2002, Sofia.
3. WHO. Air quality guidelines: Global update 2005. 2006.
4. IAOS. Danni za meteorologiyata i vazduha ot AIS v obhvata na grad Sofia. Predostaveni po reda na ZDOI. 2018.
5. ETC/ACM. Technical Paper 2011/15. Modelling of Nitrogen Dioxide (NO₂) for air quality assessment and planning relevant to the European Air Quality Directive, 2012.
6. ETC/ACM. Technical Paper 2013/11. How to start with PM modelling for air quality assessment and planning relevant to the Air Quality Directive. 2014.
7. *Woodward, H. et al.* A review of the applicability of Gaussian modelling techniques to near-field dispersion. 2021.
8. *Lents, J. et al.* Handbook of Air Quality Management. 2023.
9. *Jensen, C. et al.* Using UBM and OSPM for AQ Assessment and Impact Assessment – examples from Denmark. AirQGov Workshop September 23, 2014.
10. *Ketzel, M., et al.* Tool for Exploratory Analysis of OSPM Model Performance for Long Time Series. 14th Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes – 2-6 October 2011, Kos, Greece. 2011.
11. *Kukkonena, J. et al.* Evaluation of the OSPM model combined with an urban background model against the data measured in 1997 in Runeberg Street, Helsinki. Atmospheric Environment 37, 2003.
12. EEA. Air quality time series (E1a & E2a data sets). 2019.
13. Direktsia upravlenie i analiz na trafika. Natovarvane krastovishta (trafik) s fazi za 21 avgust 2018 g.
14. GIS Sofia EOOD i Spektri EOOD. Akustichen monitoring i spetsifichno lokalno trafiko-prebroyavane – gr. Sofia, 2012 g. – kam Strategicheska karta za shum v aglomeratsia Sofia. 2012.

15. *Mott MacDonald Ltd.* Generalen plan za organizatsia na dvizhenieto na teritoriyata na Stolichna obshtina. 2011.

16. *Ricardo-AEA.* PM2.5 and PM10 in Scotland. ED5772(ratio)DRAFT1. 2016.

17. EP/EC. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe OJ L 152, 11.6.2008.

18. MOSV/MZ. Naredba № 12 ot 15 yuli 2010 g. za normi za seren dioksid, azoten dioksid, fini prahovi chastitsi, olovo, benzen, vagleroden oksid i ozon v atmosferia vazduh.

MODELLING AIR POLLUTION FROM TRANSPORTATION ALONG BOULEVARDS IN SOFIA

A. Burov¹, D. Brezov²

Keywords: modelling, air, transport, urban street canyons, Sofia

ABSTRACT

The study demonstrates a way of filling knowledge gaps about street pollution levels for particulate matter in Sofia along the linear traffic sources. The study is based on available software for street pollution modelling. The modelling of air pollution concentration from transport emissions at the street level is performed about the boulevards Aleksander Stamboliyski and Todor Aleksandrov. The methods and techniques of data collection and processing for modelling purposes include multiple attempts to overcome gaps and limitations.

The results for chosen dates from January and April 2018, show significant increase of the pollution with PM10 and PM2.5 above the urban background level. The segments with most intensive traffic as well as those with intensive traffic framed by continuously attached mid and high rise buildings are those with the most significant values of fine particles concentration.

A set of guidelines is discussed on how to prioritize the implementation and management of measures for better atmospheric air quality in Sofia.

¹ Angel Burov, Assist. Prof. Dr. Urb., Dept. "Urban Planning", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: burov_far@uacg.bg

² Danail Brezov, Assoc. Prof. Dr. Math., Dept. "Mathematics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: danail.brezov@gmail.com